

CIANOBACTERIAS Y EUTROFIZACIÓN

Posgrados en Ciencias Ambientales – Facultad de Ciencias – UDELAR

Docente a cargo: Luis Aubriot

Docentes practicantes: Sylvia Bonilla, Signe Haakonsson, Elena Fukasawa Galvanese, Guillermo Goyenola (CURE), Beatriz Brena (F. Química). Invitados: Bernardo Zabaleta (UTEC), Federico Quintans (Ministerio de Ambiente).

Carga horaria: 54

4 Créditos

Optativa para el plan individual MACA, Unidad Biofísica PECA

Días y horarios sugeridos: martes, jueves y viernes. Del 6 de octubre al 27 de noviembre de 2026.

Modalidad: Presencial

Programa

INTRODUCCIÓN:

Las floraciones de cianobacterias en ecosistemas acuáticos continentales se han intensificado en las últimas décadas, impulsadas por la combinación de la eutrofización de origen antrópico y la aceleración del cambio climático. El aporte excesivo de nutrientes —especialmente nitrógeno y fósforo— desde las cuencas agrícolas, urbanas e industriales altera los ciclos biogeoquímicos en lagos, embalses y cursos de agua. En algunos casos estas alteraciones favorecen el crecimiento explosivo de cianobacterias potencialmente tóxicas. A esto se suma un conjunto de factores climáticos que pueden contribuir a la persistencia y severidad del fenómeno: el aumento de la temperatura, la mayor frecuencia de olas de calor, la intensificación de las sequías y la ocurrencia de precipitaciones extremas que modifican los pulsos hidrológicos y la dinámica de mezcla en los cuerpos de agua. Estos cambios alteran la estabilidad de la columna de agua, los tiempos de residencia, la disponibilidad de nutrientes, condicionando la prevalencia de cianobacterias en muchos sistemas.

En este contexto, comprender los mecanismos ecofisiológicos y biogeoquímicos que determinan la ocurrencia, mantenimiento y colapso de las floraciones resulta fundamental para su evaluación y gestión. El curso teórico-práctico aborda los principales factores ambientales que regulan el crecimiento de cianobacterias, su relación con los ciclos

biogeoquímicos de nutrientes clave y las aproximaciones diagnósticas utilizadas para evaluar el estado trófico de un ecosistema. En las clases prácticas se realizarán ensayos de crecimiento con cianobacterias en el laboratorio bajo diferentes condiciones de temperatura y nutrientes (limitación y suficiencia), y se analizarán diseños experimentales para el trabajo con cultivos y con muestras naturales de lagos. Se aplicarán metodologías de muestreo en lagos con floraciones, análisis al microscopio de muestras e identificación taxonómica, uso de fluorómetros multiespectrales sumergibles y de mesada, análisis de actividad fotosintética (modulación de amplitud de pulso para fitoplancton Phyto PAM). Además, se introducirán herramientas de monitoreo in situ (boyas y cámaras multiespectrales) y remoto (teledetección), actualmente fundamentales para los sistemas de alerta temprana. Se discutirán estrategias de mitigación desde dos escalas complementarias: la reducción de cargas de nutrientes a nivel de cuenca, incluyendo enfoques de modelación, y la aplicación de metodologías *in-lake*, con un análisis crítico de sus resultados.

OBJETIVOS:

El objetivo general es proporcionar conocimientos teórico-prácticos que permitan comprender cómo el aumento de la temperatura, la variabilidad hidrológica y la eutrofización favorecen a las floraciones de cianobacterias, actuando por separado y de forma combinada. Asimismo, se analizarán las estrategias actuales para el monitoreo de floraciones y las alternativas para su mitigación. El curso está enfocado principalmente en ecosistemas continentales de Uruguay e incluye el análisis de estudios de caso locales y regionales.

CONTENIDO:

1. **Nutrientes, ciclos biogeoquímicos y crecimiento.** Características fisicoquímicas del agua. Descripción de los procesos que controlan la disponibilidad de nutrientes y su vínculo con la eutrofización. Alteraciones antrópicas en el aporte de nutrientes, fuentes difusas y puntuales, y retroalimentaciones internas desde el sedimento. Cargas de nutrientes, balance de masas y modelación, y uso en la gestión de recursos acuáticos.
2. **Ecofisiología:** Revisión de la influencia de la luz. Efectos de las propiedades ópticas del agua, materia orgánica disuelta, sólidos en suspensión, mezcla de la columna de agua, temperatura y estabilidad térmica en la dinámica de las poblaciones. Curvas de crecimiento en función de intensidad de la luz. Cinética de incorporación de nutrientes y crecimiento. Modelos cinéticos. Acumulación de recursos, uso de nutrientes

orgánicos. Deficiencia por nutrientes en la tasa de crecimiento. Concepto de nutriente limitante del crecimiento, relación de Redfield, usos y metodologías de evaluación. Variantes y tipos de toxinas, técnicas de determinación, efectos en la salud humana y animal, factores ambientales que regulan la síntesis.

3. **Evaluación y diagnóstico de la eutrofización.** Presentación de índices de estado trófico. Herramientas de análisis y criterios para el uso de índices de estado. Discusión de limitaciones y recomendaciones metodológicas. Estudios de caso de Uruguay.
4. **Efectos de la variabilidad climática.** Cambio climático: aumento de temperatura, olas de calor, sequías y precipitaciones extremas. Tiempos de residencia del agua. Cómo estos fenómenos alteran los procesos hidrológicos, la estratificación, la disponibilidad de nutrientes y sus efectos en el crecimiento cianobacteriano. Discusión de su papel en la intensificación y expansión temporal de las floraciones. Estudios de caso de Uruguay.
5. **Monitoreo de floraciones de cianobacterias: métodos in situ y de teledetección.** Tipos de floraciones y definiciones. Introducción a técnicas tradicionales y sensores automáticos in situ, incluyendo clorofila-a, ficocianina y turbidez. Revisión de plataformas satelitales y algoritmos para la detección temprana y seguimiento espacial. Otros sistemas de monitoreo (cámaras multiespectrales, drones). Evaluación crítica de cada abordaje. Estudios de caso de Uruguay.
6. **Mitigación: enfoques de cuenca y metodologías *in-lake*.** Estrategias para reducir aportes externos mediante la gestión territorial y modelación de cuencas. Análisis crítico de métodos de geoingeniería y tecnologías *in-lake*, con énfasis en experiencias exitosas y fracasos documentados. Estudios de caso de Uruguay.
7. **Clases Prácticas** (6 clases de laboratorio de 3h cada una y una salida de campo): muestreos y ensayos de laboratorio. Se realizarán muestreos en lagos con floraciones de cianobacterias, mediciones in situ (uso de sondas y fluorómetros), obtención de muestras, preservación. Ensayos de laboratorio con muestras naturales y cultivos monoespecíficos, aplicación de tratamientos con temperatura, nutrientes, e inhibidores del crecimiento, medición de variables de respuesta, análisis de cinética de crecimiento. Definición de objetivos y preguntas a responder por grupo.
8. **Seminarios (1 de 3h):** Se expondrán los resultados de cada grupo. Discusión general de los resultados e implicancias. Evaluación del curso.

APROBACIÓN DEL CURSO

Asistencia en el 80% de las clases.

Seminario (30%).

Examen final (70%).

BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA:

- Aubriot, L., 2019. Nitrogen availability facilitates phosphorus acquisition by bloom-forming cyanobacteria. *FEMS Microbiol. Ecol.* 95. <https://doi.org/10.1093/femsec/fiy229>
- Aubriot, L., Bonilla, S., Falkner, G., 2011. Adaptive phosphate uptake behaviour of phytoplankton to environmental phosphate fluctuations. *FEMS Microbiol. Ecol.* 77, 1–16. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.2011.01078.x>
- Aubriot, L., Clivio, F., Somma, A., Galvanese, E., Colombo, S., Haakonsson, S., 2025. Control of cyanobacterial blooms with iron addition can favor stress-tolerant toxic species. *Harmful Algae* 142, 102784. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2024.102784>
- Aubriot, L., Zabaleta, B., Bordet, F., Sienra, D., Risso, J., Achkar, M., Somma, A., 2020. Assessing the origin of a massive cyanobacterial bloom in the Río de la Plata (2019): Towards an early warning system. *Water Res.* 181, 115944. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115944>
- Bonilla, S., Aguilera, A., Aubriot, L., Huszar, V., Almanza, V., Haakonsson, S., Izaguirre, I., O'Farrell, I., Salazar, A., Becker, V., Cremella, B., Ferragut, C., Hernandez, E., Palacio, H., Rodrigues, L.C., Silva, L.H.S. da, Santana, L.M., Santos, J., Somma, A., Ortega, L., Antoniadis, D., 2023. Nutrients and not temperature are the key drivers for cyanobacterial biomass in the Americas. *Harmful Algae* 121, 102367. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2022.102367>
- Bonilla, S., Aubriot, L., Haakonsson, S., Illarze, M., Díaz, I., Brena, B., 2021. Las floraciones de cianobacterias tóxicas comprometen el uso del agua del Río Negro, Uruguay. *INNOTEC* núm. 22, e577. <https://doi.org/10.26461/22.08>
- Bonilla, S., Aubriot, L., Soares, M.C.S., González-Piana, M., Fabre, A., Huszar, V.L.M., Lüring, M., Antoniadis, D., Padisák, J., Kruk, C., 2012. What drives the distribution of the bloom-forming cyanobacteria *Planktothrix agardhii* and *Cylindrospermopsis raciborskii*? *FEMS Microbiol. Ecol.* 79, 594–607. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.2011.01242.x>
- Chorus, I., 2021. Toxic Cyanobacteria in Water: A Guide to Their Public Health Consequences, Monitoring and Management. Taylor & Francis, Erscheinungsort nicht ermittelbar.

- Chorus, I., Welker, M., 2021. Toxic cyanobacteria in water: a guide to their public health consequences, monitoring and management. Taylor & Francis. <https://doi.org/10.1201/9781003081449>
- Haakanson, S., Montesino, Y., Renom, M., Aubriot, L., 2025. Extreme temperatures increase the frequency of cyanobacterial blooms in subtropical reservoirs. *Sci. Total Environ.* 1009, 181086. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.181086>
- Pinotti, G., Gaucher, L., Fleitas, V., Boccardi, L., Goyenola, G., 2025. Aluminum compounds as a management tool for Eutrophic Lakes: State of the art. *Ecol. Eng.* 212, 107503. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2024.107503>
- Whitton, B.A., 2012. The ecology of cyanobacteria II, 2nd ed. Kluwer Academic Publishers.
- Xiao, M., Burford, M.A., Prentice, M.J., Galvanese, E.F., Chuang, A., Hamilton, D.P., 2023. Phosphorus storage and utilization strategies of two bloom-forming freshwater cyanobacteria. *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.* 290, 20231204. <https://doi.org/doi:10.1098/rspb.2023.1204>
- Xiao, M., Burford, M.A., Wood, S.A., Aubriot, L., Ibelings, B.W., Prentice, M.J., Galvanese, E.F., Harris, T.D., Hamilton, D.P., 2022. Schindler's legacy: from eutrophic lakes to the phosphorus utilization strategies of cyanobacteria. *FEMS Microbiol. Rev.* <https://doi.org/10.1093/femsre/fuac029>
- Zabaleta, B., Aubriot, L., Olano, H., Achkar, M., 2023a. Satellite assessment of eutrophication hot spots and algal blooms in small and medium-sized productive reservoirs in Uruguay's main drinking water basin. *Environ. Sci. Pollut. Res.* <https://doi.org/10.1007/s11356-023-25334-9>
- Zabaleta, B., Haakonsson, S., Achkar, M., Aubriot, L., 2023b. High-frequency zones of phytoplankton blooms in the Río de la Plata Estuary associated with El Niño-Southern Oscillation. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 108342. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2023.108342>